AUS DER UNIVERSITÄTS-AUGENKLINIK, BASEL
(Direktor: Prof. Dr. A. Brückner)

Über den Vitamin C-Gehalt (reduzierte Form) der Linse und des Kammerwassers von Rindern verschiedenen Lebensalters und bei Katarakt

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Arno Gurewitsch
aus Berlin

BASEL · BUCHDRUCKEREI DER NATIONAL-ZEITUNG · 1934

AUS DER UNIVERSITÄTS-AUGENKLINIK, BASEL
(Direktor: Prof. Dr. A. Brückner)

Über den Vitamin C-Gehalt (reduzierte Form) der Linse und des Kammerwassers von Rindern verschiedenen Lebensalters und bei Katarakt

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Arno Gurewitsch
aus Berlin

BASEL · BUCHDRUCKEREI DER NATIONAL-ZEITUNG · 1934

Von der medizinischen Fakultät der Universität Basel
genehmigt auf Antrag von Professor Dr. A. Brückner

Promotion am 6 Juli 1934.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Untersuchungen von *H. K. Müller* und *Buschke* haben gezeigt, dass im Vitamin C-Gehalt (reduzierte Form) von Linse und Kammerwasser alter und junger Kaninchen beträchtliche Unterschiede bestehen. In den Linsen der älteren Tiere fanden diese Autoren nur halb so viel Vitamin C als in denen der jungen Tiere, während umgekehrt das Kammerwaser bei den jungen Kaninchen weniger Vitamin C enthält als bei den alten Tieren. Da diese Autoren ferner ebenso wie *Euler* und *Martius* in der Kataraktlinse eine starke Verminderung des Ascorbinsäure-Gehaltes haben feststellen können, kommt dem Befunde der Abnahme des Vitamin C in der Linse beim Altern eine ganz besondere Bedeutung zu. Es erschien daher wichtig, auch andere Tierarten in grösseren Versuchsreihen in dieser Richtung zu untersuchen, zumal es zunächst nicht möglich ist, solche Versuche an normalen menschlichen Linsen, die ja ebenfalls reichlich Vitamin C enthalten, im erforderlichen Ausmass durchzuführen. Je mehr Tierarten gefunden werden, bei denen gesetzmässige Veränderungen beim Altern im Vitamin C-Gehalt der Linse und des Kammerwassers aufgedeckt werden können, mit desto grösserer Wahrscheinlichkeit kann aus den Befunden am Tierauge ein Rückschluss auf das menschliche Auge gezogen werden.

Ich habe daher auf Anregung von Herrn Privatdozent Dr. *H. K. Müller* eine grössere Anzahl von Linsen und das zugehörige Kammerwasser von Rindern verschiedenen Alters auf ihren Gehalt auf Vitamin C untersucht. Die Augen wurden aus den frisch geschlachteten Tieren entnommen und gelangten spätestens eine halbe bis eine Stunde nach der Entnahme zur Verarbeitung. Zur quantitativen Bestimmung der Ascorbinsäure wurde die Titrationsmethode mit dem 2,6 Dichlorphenolindophenol-Farbstoff verwendet. Sie wurde im 10%igen Trichloressigsäure-Filtrat, genau wie sie *Müller* und *Buschke* beschrieben haben, durchgeführt. Ergänzend ist dazu nur hinzuzufügen, dass das Kammerwasser, im Verhältnis 1 : 1 mit Trichloressigsäure versetzt wurde und jeweils 0,5 ccm dieses Filtrats mit dem Farbstoff filtriert wurden. Der klare trichloressigsaure Linsenextrakt wurde jeweils auf 20 ccm im Messkolben aufgefüllt und von ihm 2 ccm zur Titration benützt. In allen Fällen wurden Doppelbestimmungen ausgeführt. Auf eine Bestimmung der reversibeloxydierten Ascorbinsäure habe ich zunächst verzichtet, da mir die nötige Schwefelwasserstoff-Apparatur nicht zur Verfügung stand und der Zweck dieser Arbeit vor allem darin lag, festzustellen, ob die reduzierte

Form der Ascorbinsäure beim Rind in Linse und Kammerwasser beim Altern gesetzmässige quantitative Veränderungen erleidet. In der Mehrzahl der Versuche wurde auch noch der Gehalt an reduziertem Glutathion bestimmt. Dabei hielt ich mich ebenfalls an das Vorgehen von *Müller* und *Buschke*, d. h. es wurde der trichloressigsaure Extrakt der Linse mit Jod titriert und die Differenz von Jod und Farbstoff-Reduktionsvermögen auf reduziertes Glutathion bezogen.

Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse können wir annehmen, dass im trichloressigsauren Filtrat von Kammerwasser und Linse die Ascorbinsäure wahrscheinlich die einzige Substanz ist, die den 2,6 Dichlorphenolindophenol-Farbstoff zu reduzieren vermag. Es ist aber möglich, dass in zukünftigen Untersuchungen im Kammerwasser und in der Linse vielleicht Substanzen gefunden werden, die auch in saurem Milieu den genannten Farbstoff reduzieren können. Da sich jedoch nach *Harris* in der Linse auch im biologischen Versuch reichlich Ascorbinsäure hat nachweisen lassen, ohne dass allerdings bis jetzt mit dieser Versuchsart durchgeführte genauere quantitative Bestimmungen bekannt gegeben wurden, dürfen wir wohl das Farbstoffreduktionsvermögen von Linse und Kammerwasser auf Vitamin C beziehen. Kammerwasser und Linse enthalten, ebenfalls nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse, nur zwei Stoffe, die in saurem Milieu Jod zu reduzieren vermögen, das Glutathion und die Ascorbinsäure. Auch hier muss gesagt werden, dass die Jodtitration keine spezifische Bestimmung für diese Substanzen darstellt und dass die Spezifität der Titration nur darin beruht, dass wir andere in saurem Milieu Jod reduzierende Substanzen bis jetzt nicht haben nachweisen können.

Mit dieser Einschränkung erscheint es erlaubt, zu sagen, dass dass das Jod-Reduktionsvermögen des sauren Linsenextraktes auf das reduzierte Glutathion und die reduzierte Form der Ascorbinsäure zurückzuführen ist, während das Farbstoff-Reduktionsvermögen lediglich auf die Ascorbinsäure bezogen werden muss. Aus der Differenz von Jod und Farbstoff-Reduktionsvermögen kann deshalb der Glutathiongehalt berechnet werden.

In Tabelle 1 bis 4 habe ich die bei Rindern verschiedenen Alters gefundenen Werte für den Ascorbinsäure- und den Glutathiongehalt der Linsen und des Kammerwassers nach Altersgruppen geordnet eingetragen. Da die Werte teilweise sehr schwanken, wurde auf eine feinere Unterteilung bezüglich des Lebensalters verzichtet und nur diese 4 Altersgruppen gebildet. Die erste Gruppe umfasst Kälber im Alter von 5 bis 12 Wochen, die zweite Rinder von 1 bis 2 Jahren, die dritte enthält die Werte für 3- bis 8jährige Tiere und in der vierten Gruppe sind die Werte von 9- bis 16jährigen Rindern zusammengestellt.

Tabelle 1

Vitamin C- und Glutathion-Gehalt (reduzierte Form) von Linsen und Kammerwasser normaler Kälber im Alter von 5—12 Wochen.

	Kammerwasser	Linsen			
1	2	3	4	5	6
Nr.	mg % Ascorbinsäure	mg % Ascorbinsäure	Reduktionsvermögen in ccm n/1000 Jod prd g	mg % Glutathion	Prozentualer Anteil der Ascorbinsäure am Gesamtreduktionsvermögen
1	14,7	45,1	12,4	182,5	41,1
2	21,5	44,2	12,8	195,0	39,1
3	14,2	43,8	12,6	185,0	40,3
4	14,2	45,2	11,8	167,5	43,2
5	16,5	36,9	11,2	175,0	37,5
6	12,2	36,3	12,0	197,5	34,2
7	15,5	33,8	13,8	250,0	27,5
8	12,8	30.0	10,8	185.0	34,3
9	10,8	29,2	9,0	145,2	36,7
10	12,8	32,3	12,6	222,5	29,4
11	17,5	40,8	11,2	165,0	41,1
12	15,4	36,6	12,8	215,0	32,8
13	13,1	38,6	13,2	220,0	33,3
14	17,9	34,6	10,2	157,5	38,2
15	19,3	32,2	12,2	212,5	30,3
16	14,8	32,1	12,0	210,0	30,0
17	19,4	34,2	13.0	227,5	30,0
18	15,5	28,7	11,4	208,5	28,1
19	16,4	40,1	12,4	195,0	38,7
20	17,7	42,5	11,8	175,0	40,7
21	15,0	45,8			
22	10,6	51,0			
23	12,3	43,6			
24	21,1	44,0			
25	14,1	43,1			
26	14,1	44,9			
Mittelwerte	15,4	38,8	12,0	194,4	35,3
Variationsstatistischer Faktor k gegen 1—2 jährige Rinder		0,7			
gegen 9—18 jährige Rinder		5,4		0,04	

Tabelle 2

Vitamin C- und Glutathion-Gehalt (reduzierte Form) von Linsen und Kammerwasser normaler Rinder im Alter von 1 bis 2 Jahren.

	Kammerwasser	Linsen			
1	2	3	4	5	6
Nr.	mg % Ascorbinsäure	mg % Ascorbinsäure	Reduktionsvermogen in ccm n/1000 Jod pro g	mg % Glutathion	Prozentualer Anteil der Ascorbinsäure am Gesamtreduktionsvermögen
1	15,2	25,8	9,0	132.5	41,1
2	19,9	30,5	8,6	127,5	41,2
3	15,4	24,8	7,2	110,0	38,9
4	21,2	28,2	7,2	100,0	44,4
5	15,5	25,8	8,2	132,5	35,4
6	18,7	28,6	10.2	172,5	32,4
7	19,4	36,7	12,2	200.0	34,4
8	21,8	40,8	13,0	210,0	35,4
9	25,4	40 2	12,0	185,0	38,3
10	18,9	48.5	14,0	212,5	39.3
11	16,6	45,5	14,0	220 0	37,1
12	–	46.6	13,6	207,5	39,0
13	–	43,7	13,0	200.0	38,5
14	17,9	40,7	17,8	330,0	25,8
15	14,5	39,2	17,0	315,0	25,9
16	28,2	48,8	14.0	212,5	39,3
17	18,1	39,8	15,4	272,5	29,2
18	21,8	37,2	13,4	230,0	31,3
19	20,7	42,1	13,8	225,0	34,8
20	26.0	44.8			
21	23,8	47.1			
22	23,8	48,0			
23	29,0	49.3			
24	28,2	49.6			
25	28,2	52,4			
Mittelwerte	20.4	40,32	12,3	199,7	35,9
Variationsstatistischer Faktor k gegen Kälber	4,48	0,7		0,04	
gegen 3–8 jährige Rinder	3,4			1,9	
gegen 9–18 jährige Rinder	5,1				

Tabelle 3

Vitamin C- und Glutathion-Gehalt (reduzierte Form) von Linsen und Kammerwasser normaler Rinder im Alter von 3 bis 8 Jahren.

	Kammerwasser	Linsen			
1	2	3	4	5	6
Nr.	mg % Ascorbinsäure	mg % Ascorbinsäure	Reduktionsvermögen in ccm n/1000 Jod pro g	mg % Glutathion	Prozentualer Anteil der Ascorbinsäure am Gesamtreduktionsvermögen
1	18,1	18,3	5,6	87,5	37,5
2	20,6	31,4	9,2	140,0	36,4
3	–	24,2	7,8	125,0	35,9
4	28,2	23,4	6,6	97,5	40,9
5	18,7	23,9	8,4	142,5	32,1
6	14,9	22,3	8,2	142,5	30,5
7	15,2	16,3	7,4	137,5	25,7
8	25,1	30,0	11,0	192,5	30,0
9	11,4	37,4	11,0	167,5	39,1
10	16,3	26,8	8,0	125,0	37,5
11	14,6	23,0	8,0	135,0	32,5
12	21,0	41,5	13,0	207,5	36,2
13	23,1	38,6	12,8	210,0	34,4
14	24,9	27,0	6,6	87,5	47,0
15	16,7	44,9	15,2	252,5	33,6
16	28,8	37,6	13,2	222,5	32,6
17	27,5	52,1	14,0	200,0	42,9
18	20,3	38,5	12,8	210,0	34,4
19	19,0	38,3	13,0	215,0	33,9
20	13,7	38,2	12,0	190,0	36,7
21	22,5	28,5	9,4	155,0	34,0
22	19,9	40,3	13,2	220,0	34,9
23	22,9	44,8			
24	13,2	38,2			
Mittelwerte	19,4	32,7	10,3	166,5	35,4
Variationsstatistischer Faktor k					
gegen 1–2 jährige Rinder		3,4		1,94	
gegen 9–18 jährige Rinder		2,03		0,42	

Tabelle 4

Vitamin C- und Glutathion-Gehalt (reduzierte Form) von Linsen und Kammerwasser normaler Rinder im Alter von 8 — 19 Jahren.

	Kammerwasser	Linsen			
1	2	3	4	5	6
Nr.	mg % Ascorbinsäure	mg % Ascorbinsäure	Reduktionsvermögen in ccm n/1000 Jod pro g	mg % Glutathion	Prozentualer Anteil der Ascorbinsäure am Gesamtreduktionsvermögen
1	21,5	17,1	6 2	105.0	32,3
2	11,3	18,7	6,6	112,5	31,8
3	17,6	22,8	8,0	135,0	32.5
4	21,1	23,8	8,2	137,5	32,9
5	18,0	18,1	6,4	110,0	31,2
6	11.6	27,5	9,6	162.5	32,3
7	15,9	35.5	15,0	275,0	32,8
8	16,3	26,8	—	125,0	—
9	17,0	38,1	12,2	197,5	29,1
10	32,3	41,6	14,8	252.5	31,3
11	17,4	24,0	6.2	87,5	43,6
12	13,0	23,0	8,0	135,0	32.5
13	23,3	35,4	11,0	175,0	36,4
14	13,5	30,0	14,2	270,0	26,4
15	23,1	32,3	14,0	257,5	23,9
16	28,0	33,6	12,2	210,0	31,2
17	30.0	37,8	12,4	202,5	34,7
18	15,0	34.8			
19	18,5	30,9			
20	23,8	28,5			
21	15,0	32.7			
22	16,2	29,9			
23	19,4	27,6			
24	15,5	31,2			
25	20,2	12,7			
Mittelwerte	19,0	28,6	10,3	173,5	32,2
Variationsstatistischer Faktor k					
gegen Kälber		5,4			
gegen 1 2 jährige Rinder		5,1			
gegen 3—8 jährige Rinder		2.0		0,4	

Betrachten wir die in Tabelle 1 bis 4 eingetragenen Ergebnisse, so zeigt sich, dass die Mittelwerte für den Vitamin C-Gehalt der Linsen ein gesetzmässiges Verhalten erkennen lassen. So nimmt der Ascorbinsäure-Gehalt der Linsen mit dem Alter ständig ab. Die Linsen der Kälber und der 1 bis 2jährigen Rinder enthalten durchschnittlich mehr Vitamin C in reduzierter Form, und zwar 39 und 40 mg%, als die Linsen der älteren Rinder von 3 bis 8 und 9 bis 18 Jahren, bei denen ich Mittelwerte von nur etwa 33 und 29 mg% Ascorbinsäure festgestellt habe. Ob allerdings der Gipfelpunkt des Ascorbinsäuregehaltes der Linsen bei Rindern von 1 bis 2 Jahren zu Recht besteht, lässt sich nicht sagen, da der Unterschied der Mittelwerte dieser beiden Gruppen zu gering ist und die einzelnen Werte zu stark streuen. Die variationsstatistische Berechnung ergibt für diese beiden Versuchsreihen einen Wert von 0,7 für den Faktor k. Es liegt als durchaus im Bereich der Möglichkeit, dass der Unterschied, d. h. das Ansteigen der Mittelwerte von den Kälbern zu den 1 bis 2jährigen Rindern ein reines Zufallsprodukt ist. Ich möchte aber betonen, dass dieses Resultat der variationsstatistischen Berechnung nur besagt, dass der gefundene Unterschied zufällig sein kann, aber nicht, dass er zufällig sein muss. Erst eine Erweiterung der Versuchsreihe kann hier Klarheit schaffen.

Anders verhält es sich mit dem Unterschied im Vitamin C-Gehalt von 1 bis 2 und 3 bis 8jährigen Rindern. Die hier ermittelte Abnahme von 40 mg% auf 33 mg% ist variationsstatistisch völlig gesichert, da der Wert für den Faktor k 3,4 beträgt.

Für den nächsten Unterschied, d. h. für die Differenz des durchschnittlichen Vitamin C-Gehaltes der Linsen der 3 bis 8jährigen Rinder von dem der 9 bis 18jährigen ist der variationsstatistische Faktor k etwas grösser als 2. Es lässt sich also auch hier mit ziemlich grosser Wahrscheinlichkeit eine weitere Abnahme des Ascorbinsäuregehaltes mit zunehmendem Alter feststellen.

Meine Untersuchungen ergeben demnach, dass beim Altern mindestens vom zweiten Lebensjahre ab der Vitamin C-Gehalt der Linsen sich ständig verringert. Dieser Befund erscheint besonders bemerkenswert, da die Ascorbinsäure einen wichtigen Faktor der Zellatmung darstellt.

Auffallend war bei meinen Untersuchungen die grosse Streuung der ermittelten Werte auch innerhalb der Altersgruppen. Dies ging so weit, dass ich Linsen junger Rinder mit einem sehr geringen Vitamin C-Gehalt und umgekehrt Linsen alter Rinder mit hohem Ascorbinsäuregehalt gefunden habe. Die Streuung der einzelnen Werte ist für die beiden mittleren Altersgruppen am grössten, während sie bei den Kälbern verhältnismässig gering ist. Die Zunahme der Streuung in den beiden mittleren Altersgruppen mag wohl darauf

zurückzuführen sein, dass einmal hier Irrtümer in der Altersbestimmung nicht völlig ausgeschlossen sind — ich verliess mich hierbei auf die Angaben eines erfahrenen Metzgers — und dass gerade in diesen Gruppen die Alterskurve des Linsen-Vitamin C-Gehaltes ihren stärksten Abfall hat. Die bei den Kälbern festgestellte Streuung der Einzelbefunde — ihr Mass s beträgt $\pm$ 6,0 mg% — muss wohl, zumal wesentliche Irrtümer in der Altersbestimmung hier nicht unterlaufen können, auf individuelle, Rassen- und Ernährungs-Unterschiede zurückgeführt werden. Welche Bedeutung jedem dieser drei Faktoren zukommt, lässt sich jetzt noch nicht sagen.

Einen bemerkenswerten Befund habe ich weiterhin bei der Berechnung des Anteiles der Ascorbinsäure am Gesamt-Reduktionsvermögen der Linse erheben können. Unter dem Begriff des Gesamt-Reduktionsvermögens sei hier das Jod-Reduktionsvermögen des trichloressigsauren Linsenextraktes verstanden. Dieses Reduktionsvermögen hat man ja bis jetzt allgemein nur auf die Anwesenheit von Glutathion bezogen und hat direkt aus den Jodzahlen die Glutathionwerte berechnet. Durch die Feststellung, dass in der Linse Ascorbinsäure enthalten ist, die ebenfalls Jod in saurem Milieu reduziert, erweist sich diese Berechnung als nicht ganz richtig. Erst wenn man das Reduktionsvermögen der Ascorbinsäure vom Gesamtreduktionsvermögen der Linse in Abzug bringt, darf man nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse den Restwert auf Glutathion beziehen. Berechnet man nun den prozentualen Anteil der Ascorbinsäure am Gesamt-Reduktionsvermögen der Linse, so ergeben sich die in Tabelle 1 bis 4 im Stab 6 eingetragenen Werte. Im Durchschnitt beträgt der Anteil der Ascorbinsäure am Gesamt-Reduktionsvermögen der Linse etwa 33%. Daraus geht hervor, dass die früher von anderen Autoren festgestellten Glutathionwerte der Linse um etwa ⅓ zu hoch sind. Die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen liegen zwischen 32 und 36% und zeigen keine wesentliche Altersabhängigkeit. Da der niedrigste Wert bei den ältesten Tieren gefunden wurde, ist es möglich, dass vielleicht eine geringgradige Abnahme des prozentualen Anteils der Ascorbinsäure mit dem Altern stattfindet, jedoch sind die Unterschiede der Mittelwerte zu klein und die Streuung der Einzelbefunde zu gross, um diese Frage entscheiden zu können.

Dieser Befund steht in einem gewissen Gegensatz zu den von *Müller* und *Buschke* für Kaninchen gemachten Feststellungen. Diese Autoren fanden nämlich, dass der prozentuale Anteil der Ascorbinsäure am Gesamt-Reduktionsvermögen der Kaninchenlinse bei den jungen Tieren 21% und bei den älteren 11% beträgt. Worauf dieser Unterschied beruht, lässt sich zunächst nicht sagen. Vielleicht kommt der Ascorbinsäure beim Stoffwechsel der Linse bei verschiedenen

Tierarten nicht die gleiche Bedeutung zu. So wissen wir auch, dass der Ascorbinsäure-Gehalt der Linsen einzelner Tierarten ausserordentliche Unterschiede aufweist. Die Rattenlinse enthält z. B. nach *Müller* und *Buschke* nur etwa 3 mg %, während wir beim Rind 30—40 mg % finden. Die stärkere Abnahme des absoluten Vitamin C-Gehaltes der Linse mit dem Alter beim Kaninchen lässt daran denken, dass vielleicht der Ascorbinsäure-Stoffwechsel bei kurzlebigen Tieren stärkere altersabhängige Veränderungen erleidet als bei den verhältnismässig langlebenden Tieren.

Sehr eindeutig liegen die Ergebnisse bei der getrennten Untersuchung von Rinde und Kern von Linsen verschieden alter Rinder (Tabelle 5).

Tabelle 5

Vitamin C-Gehalt (reduzierte Form) der Rinde und des Kernes der Linsen normaler Rinder

No.	1 – 2 Jahre alte Rinder mg % Ascorbinsäure		No.	10 – 16 Jahre alte Rinder mg % Ascorbinsäure	
	Rinde	Kern		Rinde	Kern
1	59.4	44,5	1	45,1	31.1
2	58,7	43,4	2	47,4	27,5
3	57.7	41,7	3	44,9	25,9
4	62.5	41,7	4	47,0	18.2
5	62.5	41,8	5	39,6	27,3
6	52.6	38,1	6	32,5	21,0
7	43.4	32.9	7	33,8	16,7
			8	31.2	20,5
			9	38.5	25,0
			10	37,1	27,2
Mittelwerte	56,7	40,6	Mittelwerte	39.7	24,0
Variationsstatistischer Faktor k gegen 10—16 jähriger Rinder	5,1	7,9			

Um Rinde und Kern von einander zu trennen, entkapselte ich die Linsen und entfernte mit einem Glasspatel die weichere Rinde. Eine absolut exakte Trennung ist auf diese Weise allerdings nicht möglich, doch genügte mir für den Zweck meiner Untersuchung dieses Verfahren.

Die Kerne der Linsen enthalten durchgehend weniger Vitamin C als die Rindenschichten und in beiden nimmt der Gehalt an Vitamin C mit dem Alter ab. Vergleichen wir die gefundenen Mittelwerte, die variationsstatistisch als gesichert anzusehen sind, so zeigt sich, dass bei den 1- bis 2jährigen Tieren der Kern 28 % weniger Ascorbinsäure enthält als die Rinde, während bei den 10- bis 16jährigen Tieren dieser Unterschied fast 40 % beträgt. Der Kern verliert mit dem Alter also verhältnismässig mehr Vitamin C als die Rinde. Diese Befunde stehen im Einklang mit dem, was wir aus der klinischen Beobachtung über das Verhalten von Rinde und Kern beim Altern wissen, und sie stützen somit weiterhin die Vorstellung, dass der Ascorbinsäure Bedeutung für die Linsenatmung zukommt.

Bei einem grossen Teil der untersuchten Linsen wurde auch der Gehalt an reduziertem Glutathion, wie eingangs beschrieben, bestimmt. Die gefundenen Werte sind in Spalte 5 der Tabellen 1 bis 4 eingetragen. Auch hier zeigt sich eine Abnahme mit zunehmendem Alter. Während die 1 bis 2jährigen Tiere im Durchschnitt fast 200 mg % Glutathion in ihren Linsen enthalten, betragen die Werte für die 3 bis 8 und die 9 bis 18jährigen nur 167 bezw. 174 mg %. Auffallend ist allerdings, dass wiederum, wie bei der Ascorbinsäure, der Durchschnittswert bei den Kälbern etwas niedriger liegt, als bei den 1 bis 2jährigen Rindern. Da der variationsstatistische Faktor k aber nur 0,04 beträgt, ist der Beweis einer Gesetzmässigkeit zunächst natürlich nicht erbracht. Die Abnahme der Glutathiongehaltes der Linsen der 1 bis 2jährigen und 3 bis 8jährigen ist auch variationsstatistisch einigermassen gesichert, da der Faktor k eine Grösse von 1,94 hat. Die geringe Zunahme des durchschnittlichen Glutathion-Gehaltes der Linsen in den beiden nächsten Altersgruppen, d. h. der Unterschied zwischen den 3 bis 8jährigen und den 9 bis 18jährigen dürfte, da der Wert für k nur 0,4 beträgt, wohl zufällig sein. Die Streuung der Einzelbefunde ist beim Glutathion teilweise recht erheblich. Darauf und auf die etwas geringere Versuchszahl ist es wohl zurückzuführen, dass die variationsstatistische Sicherung der Befunde hier nicht so gut ist, wie bei den Untersuchungsergebnissen über die Ascorbinsäure.

Während also der Ascorbinsäuregehalt in den Linsen mit dem Alter um etwa 30 % abnimmt, sinkt der Gehalt an reduziertem Glutathion nur um etwa 20 %. Diese Zahlen beziehen sich auf den Milligrammprozentgehalt der untersuchten Substanzen. Ihr Anteil am Gesamt-Reduktionsvermögen erleidet aber, wie bereits bei der Ascorbinsäure festgestellt wurde, beim Altern der Tiere keine Veränderung, d. h. die Abnahme des Gesamt-Reduktionsvermögens der Linse mit dem Altern verteilt sich gleichmässig auf das Vitamin C und das Glutathion.

In den Tabellen 1 bis 4 habe ich auch die den einzelnen Altersgruppen entsprechenden Werte für den Ascorbinsäuregehalt des Kammerwasser eingetragen. Das Kammerwasser der Kälber enthält wesentlich weniger Vitamin C als das der Rinder der drei anderen Altersgruppen, durchschnittlich 15,4 gegen 20 mg %. Dieser Befund ist eigenartig und es scheint ihm, da *Müller* und *Buschke* für das Kammerwasser junger und alter Kaninchen eine ähnliche Differenz festgestellt haben, eine allgemeine Gültigkeit zuzukommen. Die Ursache dieses Unterschiedes ist zur Zeit noch nicht erfassbar. Es ist dabei zu bedenken, dass das Vitamin C des Kammerwassers teilweise aus dem Blute, teilweise vielleicht aus der Linse und anderen Augengeweben stammt und dass für den Vitamin C-Gehalt des Kammerwassers die Geschwindigkeit der Strömung des Kammerwassers, das Reduktionsvermögen der Linsenoberfläche und die Sauerstoffspannung des Kammerwassers massgebend sind. Nur weitere Untersuchungen, die alle diese Punkte berücksichtigen, können hier Klärung schaffen.

Tabelle 6

Vitamin C ⟨reduzierte Form⟩ von Kammerwasser und Linse bei Rindercataract.

No.	Linsenbefund	mg % Ascorbinsäure	
		Kammer-Wasser	Linse
	A. Cataracta senilis		
1	starke Rindentrübung	18,8	9,2
2	Cataracta incipiens	23,6	12,3
3	Cataracta hypermatura	8,7	0,4
4	Cataracta matura	14,1	4,7
5	Cataracta incipiens	14,6	3,0
6	Cataracta hypermatura	19,4	12,8
7	Cataracta incipiens	20,4	12,6
8	Cataracta matura	11,3	3,4
	B. Cataracta complicata		
1	Linse stark getrübt	11,2	7,7
2		14,6	10,3
3		2,9	0
4		4,2	0
5		11,4	0
Mittelwerte		13,4	5,9

Ich habe endlich noch einige Fälle von Cataracta senilis und Cataracta complicata des Rindes untersucht. Die entsprechenden Werte für Kammerwasser und Linse finden sich in Tabelle 6. Bei beiden Starformen kommt es zu einem gegenüber der normalen Linse ganz ausgeprochenen Verlust von Vitamin C. In drei Fällen war überhaupt keine Ascorbinsäure mehr nachweisbar. Auch meine Untersuchungen (siehe *Müller* und *Buschke)* ergaben, dass diese Abnahme umso grösser ist, je stärker die Linse getrübt ist. Ueber ein unterschiedliches Verhalten bezüglich des Vitamin C zwischen den beiden Cataractarten lässt sich aus den wenigen Zahlen bis jetzt nichts aussagen. Auffallend sind die relativ wenig herabgesetzten Vitamin C-Werte für das Kammerwasser. Von den 15 Fällen, die ich untersucht habe, zeigten nur 2 einen einwandfrei verminderten Ascorbinsäuregehalt. Die anderen Kammerwasserwerte liegen nahe an dem normalen Durchschnittswert. Es ist natürlich trotzdem möglich, dass es sich auch bei ihnen um einen krankhaft verminderten Gehalt an Vitamin C handeln kann, der nicht zu erkennen ist, da die Werte innerhalb der physiologischen Streuung liegen.

Tabelle 7

Vitamin C-Gehalt (reduzierte Form) von Rinde und Kern bei Rindercataract.

No.	Linsenbefund	mg % Ascorbinsäure		
		Kammer-wasser	Rinde	Kern
	A. Cataracta senilis			
1	Cataracta incipiens	22,0	20,6	14,4
2	Cataracta matura	21,3	12,0	10.6
3	Cataracta matura	18.0	13.8	3,3
	B. Cataracta complicata			
1	stark getrübte Linse	–	2,9	2,1
2	stark getrübte Linse	–	9,4	8,7
3	stark getrübte Linse	–	16,6	6,9
Mittelwerte		20,5	12,2	7,7

In 7 Fällen von Rinderstar ist, wie aus Tabelle 7 zu ersehen. Rinde und Kern getrennt untersucht worden. Die mechanische Trennung liess sich hier in den meisten Fällen leicht vornehmen. Aus den Zahlen ersieht man, dass der bei der Starbildung auftretende Vitamin C-Verlust sich auf Rinde und Kern verteilt. Ueber die Art dieser Verteilung des Vitamin C-Verlustes können zunächst wegen zu geringer Versuchszahl keine Schlüsse gezogen werden.

Zusammenfassend haben die Untersuchungen ergeben, dass unter der Voraussetzung, dass das Reduktionsvermögen des trichloressigsauren Filtrates von Linse und Kammerwasser gegenüber dem 2,6 Dichlorphenolindophenol auf Ascorbinsäure und gegenüber Jod auf Ascorbinsäure und Glutathion zurückzuführen ist, der Ascorbinsäure- und der Glutathiongehalt der Rinderlinsen mit dem Alter ständig abnimmt. Die Abnahme des Gesamtreduktionsvermögens des trichloressigsauren Linsenextraktes mit dem Alter verteilt sich annähernd gleichmässig auf das Vitamin C und das Glutathion.

Der durch das Alter bedingte Vitamin C-Verlust der Rinderlinsen beruht auf einer Abnahme des Vitamin C in Rinde und Kern der Linse, wobei prozentual der Kern etwas mehr Vitamin C verliert als die Rinde.

Das Kammerwasser der Kälber enthält weniger Vitamin C als das der Rinder.

Bei der Rinder-Cataract (Cataracta senilis und Cataracta complicata) kommt es zu einer starken Vitamin C-Abnahme in der Linse, die aber nicht in allen Fällen von einem nachweisbaren Vitamin C-Verlust im Kammerwasser begleitet ist.

Herrn Privatdozenten Dr. H. K. Müller möchte ich für die Ueberweisung der Arbeit und für die Unterstützung bei ihrer Ausführung an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Literatur

V. Euler und Martius: Zeitschrift für physiol. Chemie, Band 222, S. 65, 1933.

L. J. Harris und S. N. Ray: Biochemical Journal, Band 27, Nr. 2, Seite 580, 1933.

H. K. Müller u. W. Buschke: Archiv für Augenheilkunde, Band 108, Seite 368, 1934.